



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 33 947 T2** 2007.06.14

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 165 292 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 33 947.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE99/02400**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 964 897.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2000/035639**

(86) PCT-Anmeldetag: **17.12.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **22.06.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **08.11.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **14.06.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B25J 9/16** (2006.01)
B25J 19/06 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
9804450 **17.12.1998** **SE**

(73) Patentinhaber:
Robotkonsult AB, Askim, SE

(74) Vertreter:
LICHTI Patentanwälte, 76227 Karlsruhe

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:
STENBERG, Björn, S-436 39 Askim, SE

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR ZELLAUSRICHTUNG UND IDENTIFIZIERUNG UND KALIBRIERUNG EINES RO-
BOTERWERKZEUGS**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Zellenausrichtung und Identifizierung und Kalibrierung von Roboterwerkzeugen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Das Ziel der Erfindung besteht genauer darin, den Arbeitspunkt eines Werkzeugs sowie den Ort des Roboters relativ zu den Werkstücken zu bestimmen und zu kalibrieren, um die Fähigkeit der installierten Anwendung sicherzustellen, programmierte Bewegungsbahnen über einen langen Zeitraum hinweg exakt zu wiederholen, ohne dass eine Nachprogrammierung erforderlich ist.

Technisches Hintergrund

[0002] Der Stand der Technik gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist aus der US 5 457 367 A bekannt. Verfahren dieser Art, wie sie in der Patentschrift beschrieben sind, sind über viele Jahre hinweg erfolgreich angewandt worden und haben den meisten Grundanforderungen in höchst effizienter Weise genügt.

[0003] Indes hat sich das Maß an absoluter Genauigkeit als unzureichend erwiesen, um den strengen Genauigkeitsanforderungen in Verbindung mit der Simulation der Geometrie und der Offline-Programmierung von Robotern und Manipulatoren zu genügen. Ferner wurde festgestellt, dass verschiedene Arten von Fehlern, wie in einem Werkzeug oder einer Roboterachse gegebenenfalls auftretendes Spiel oder Reibung in einer Achse, das Verfahren in einer Weise beeinflussen, dass sich eine nicht feststellbare, fehlerhafte Kalibrierung ergibt. Dies hat zur Folge, dass es erforderlich sein kann, das Bewegungsprogramm des Roboters durch manuelle Einstellung sämtlicher programmierter Punkte zu aktualisieren. Dies stellt nicht nur eine zeitaufwändige Aufgabe dar, sondern führt darüber hinaus dazu, dass das Roboterprogramm mit fehlerhaften Kalibrierdaten aktualisiert wird. Als Konsequenz ergeben sich ein Verlust an Kontrolle sowie Standzeiten im Falle von zukünftigen Störungen. Ferner wurde festgestellt, dass geringfügige, aber häufig auftretende, nicht ideale Situationen zu einer schlechten Reproduzierbarkeit der Kalibrierung beitragen können.

[0004] Eine weitere Technik ist der US 5 907 229 A entnehmbar, gemäß welcher ein sphärisches Kalibrierwerkzeug an einem Roboter montiert und einige Male über einen Kalibrierstrahl hinaus bewegt wird. Indem dieser Vorgang unter Verwendung von verschiedenen Roboterkonfigurationen häufig wiederholt wird, wird eine Kalibrierung des Roboters gewährleistet.

[0005] Das Verfahren ist aufgrund der Verwendung

des speziellen sphärischen Kalibrierwerkzeugs jedoch zeitaufwändig und teuer, welches bei jeder Kalibrierung und zu jedem Zeitpunkt derselben an dem Roboter angeordnet werden muss. Darüber hinaus ist eine große Anzahl an Zyklen erforderlich, um den Roboter zu kalibrieren (z.B. 38 Zyklen im Falle eines Roboters mit sechs Freiheitsgraden). Die Kalibrierung, wie sie in der US 5 907 229 A beschrieben ist, ist ferner nicht unbedingt in Verbindung mit einem Roboter geeignet, welcher in einer Arbeitsumgebung aufgestellt ist, wobei sich das Verfahren gemäß dem Stand der Technik vornehmlich mit der Vorkalibrierung eines Roboters vor dessen Installation an seinem Arbeitsstandort befasst. Überdies ist die Kenntnis des vollständigen Kinematikmodells des Roboters erforderlich.

[0006] Das vorgenannte Verfahren genügt insbesondere nicht zweierlei Anforderungen, nämlich:

- Zellenkalibrierung zum Zwecke der Ermittlung der Position des Roboters bezüglich dem Bewegungsprogramm/Werkstück in Bezug auf welche der Roboterbewegungen ausgeführt werden soll (sogenannte Zellenausrichtung);
- Identifizierung und Kalibrierung eines Roboterwerkzeugs.

[0007] Beide Forderungen müssen erfüllt werden, um die anwendungsbezogene Funktion des Roboters sicherzustellen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Das Ziel der Erfindung besteht darin, den Bedarf an einem Verfahren zur Zellenausrichtung und Identifizierung und Kalibrierung von Roboterwerkzeugen zu befriedigen, welches zuverlässig, permanent installiert und absolut genau ist, welches mit hoher Präzision wiederholbar ist und automatisch vonstatten geht, schnell und kostengünstig ist, um sicherzustellen, dass der Roboter dazu in der Lage ist, programmierte Bewegungsbahnen über einen langen Zeitraum hinweg mit hoher Präzision zu wiederholen, während er durch die ursprünglich programmierten Punkte oder Bahnen gesteuert ist. In einigen Fällen ist eine Kalibrierung nicht möglich, wobei dann die Identifizierung genutzt werden kann, um sämtliche programmierten Punkte automatisch in einer Weise entsprechend der Änderung der detektierten Parameter zu transformieren.

[0009] Dieses Ziel der Erfindung wird mittels eines Verfahrens erreicht, wie es in den beigefügten Ansprüchen definiert ist.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren bietet erhebliche Vorteile. Es stellt ein hoch technologisches und mathematisch fortgeschrittenes Verfahren dar, welches in der Praxis anwendbar ist, welches direkt auf die Objekte der Anwendung wirksam ist und wel-

ches die für den Benutzer geeignete Genauigkeit optimiert.

[0011] Es ist nicht von irgend welchen speziellen Kalibrierwerkzeugen abhängig, sondern sind herkömmliche Werkzeuge, wie Schweißelektroden oder bestehende Referenzobjekte an Greifeinrichtungen, bestens geeignet, um den Anforderungen zu genügen.

[0012] Der gesamte Präzisionsablauf der Anwendung einschließlich der Position des Roboters, der Genauigkeit des Roboters und den Abmessungen des Werkzeugs wird durch Analyse geprüft und/oder kalibriert, woraus der Benutzer Informationen hinsichtlich der ihm zur Verfügung stehenden Genauigkeit der von dem Roboter durchgeführten Anwendung erhält. Das Verfahren bietet dem Benutzer einen Grad an Genauigkeit, welche in ein und demselben Vorgang und im Hinblick auf die Genauigkeit des Einsatzes in der jeweils in Frage stehenden Anwendung optimiert wird. Das Verfahren vermag der Anwendung ein höheres Maß an Genauigkeit zu verleihen als die Verwendung eines individuell kalibrierten Roboters mit einem separaten und genau abgemessenen Werkzeug unter Verwendung von präzisen Abmessungen des Standortes des Roboters bezüglich dem Werkstück, da dies drei separate, suboptimierte Kalibrierungen umfasst.

[0013] Darüber hinaus die das Verfahren anwendbar, ohne dass eine Kenntnis des Kinematikmodells (Gleichungen) des in Frage stehenden Roboters erforderlich wäre, was ein Merkmal darstellt, welches die praktische Anwendbarkeit und die industrielle Einsatzfähigkeit erweitert, weil geringere Anforderungen an separate Anpassungen an individuelle Systeme gestellt werden und weil die Kinematikmodelle schwer zugänglich sind und ferner zu einer wachsenden Komplexität neigen, da die Marktanforderungen an eine absolute Genauigkeit strenger werden (aufgrund dessen deren Erstellung zunehmend zeitaufwändig wird, es sei denn, man verfügt über Spezialkenntnisse des in Frage stehenden Robotersystems).

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Nachstehend ist die Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, in welchen einige bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung zum Zwecke der Veranschaulichung wiedergegeben sind, näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

[0015] **Fig. 1** einen Roboter oder Manipulator, bei welchem das erfindungsgemäße Verfahren anwendbar ist;

[0016] **Fig. 2** ein zylindrisches Teil eines Roboters;

[0017] **Fig. 3** eine an einem Roboter angeordnete Punktschweißpistole; und

[0018] **Fig. 4** die stationäre Elektrode der Punktschweißpistole.

Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform

[0019] Zunächst ist die Erfindung anhand eines praktischen Ausführungsbeispiels in seiner speziellen Anwendung in Verbindung mit einem Industrieroboter oder Manipulator beschrieben, welcher zum Punktschweißen mittels eines an einem Roboter angeordneten Werkzeugs mit einer im Wesentlichen zylindrischen Schweißelektrode eingerichtet ist.

[0020] Ein Punktschweißroboter umfasst eine Punktschweißpistole, welche in der Regel zwei Schweißelektroden aufweist, von welchen die eine im Wesentlichen stationär und die andere beweglich ist. Im vorliegenden Fall ist die stationäre Elektrode **2** von einem standardisierten Typ und besitzt eine im Wesentlichen zylindrische Gestalt, wobei die Zylinderachse mit dem Bezugszeichen **3** versehen ist. Der Zweck einer Kalibrierung der Arbeitspunktes des Werkzeugs besteht darin, den Ort einer Arbeitsposition **5** festzulegen, welche eindeutig durch die Elektrodengeometrie relativ zu dem Koordinatensystem **4** der Roboterhand definiert ist, welches wiederum eindeutig durch die Werkzeug-Befestigungsplatte **1** des Roboters definiert ist, wenn die Pistole offen und ein fester Abgleich erreicht ist. In dieser Hinsicht haben verschiedene Benutzer unterschiedliche Wünsche, doch lässt sich die Erfindung entsprechend anpassen. Die Werkzeugtransformation **6** (Tool Transform) lässt sich auf sechs Freiheitsgrade einstellen.

[0021] Üblicherweise sind reale Pistolen mit einer bekannten, nominalen Werkzeugtransformation ausgebildet und hinreichend genau in Bezug auf die rotatorische Komponente der Werkzeugtransformation, während die translatorische Komponente eine Kalibrierung in regelmäßigen Intervallen erfordert. Von der gesuchten Translation wird erwartet, dass sie innerhalb 10 mm von dem Nominalwert liegt, da bei praktischen Anwendungen Abweichungen, welche größer sind als dieser Wert, in der Regel eine Neuausrichtung erfordern. Dies sind Restriktionen von praktischer Natur, welche die Erfindung jedoch nicht einschränken.

[0022] Ein Liniendetektor, wie eine Reading-Fork vorzugsweise auf Basis eines Lichtstrahls, ist im Arbeitsbereich des Roboters installiert. Weder die Position noch die Richtung des Strahls muss bekannt sein. Es sollte möglich sein, eine Unterbrechung des Strahls zu erfassen. Eine solche Erfassung zeigt an, dass die Fläche der Elektrode tangential zur Detektorlinie angeordnet ist. Nachstehend ist ein automatisches Verfahren beschrieben, welches eine Bestim-

mung der Nominalrichtung der Detektorlinie im Raum mit hinreichender Genauigkeit ermöglicht. Ist diese bekannt, so ist es möglich, mit der Kalibrierung zu beginnen.

[0023] Zunächst wird der Roboter derart angeordnet, um sicherzustellen, dass sich die Elektrode an oder nahe der Detektorlinie befindet, wobei sich die Zylinderachse im Wesentlichen unter einem rechten Winkel zu der Detektorlinie erstreckt. Der Roboter bewegt sodann die Elektrode über die Detektorlinie hinaus, so dass der Zylinder den Strahl unterbricht. Jeder Moment der Erfassung durch die Detektorlinie, dass die Oberfläche der Elektrode eine Position einnimmt, in welcher sie tangential zu der Detektorlinie angeordnet ist, führt zu einer Registrierung der von dem Roboter in diesem Moment eingenommenen Position. Das Muster der Roboterbewegungen kann beispielsweise wie in [Fig. 4](#) gezeigt durchgeführt werden, in welcher die Bewegungen der Detektorlinie relativ zu der Elektrode in einer Ebene unter einem rechten Winkel zu der Detektorlinie wiedergegeben sind, welche folglich einen Punkt in dieser Ebene darstellt. Der Roboter bewegt die Elektrode vor und zurück, von A nach B und zurück zu A. Im Anschluss an Prüfungen und Berechnungen wird die Elektrode derart positioniert, dass sich die Detektorlinie entlang der Zylinderachse erstreckt und der Roboter bewegt die Elektrode vor und zurück, wobei sichergestellt ist, dass sich die Detektorlinie zwischen C und D vor und zurück bewegt. Nach weiteren Berechnungen wird die Bewegung zwischen A und B wiederholt, dieses mal mit einem bekannten Abstand von der Kontaktfläche der Elektrode. Die Daten der tangentialen Kontakte **7**, **8** werden gespeichert. Die Registrierung/Speicherung kann in Form von Roboterachsen- oder in Form von kartesischen Koordinaten oder beidem durchgeführt bzw. gespeichert werden. Eine kartesische Registrierung kann sich auf die Position der Werkzeug-Befestigungsplatte des Roboters oder auf eine beliebige andere Werkzeugtransformation beziehen.

[0024] Der Roboter rotiert das Werkzeug sodann um die Zylinderachse über einer Anzahl an Graden und dasselbe Bewegungsmuster wird wiederholt. Der Vorgang wird nach Rotieren über eine Anzahl an Graden um die Detektorlinie in der gleichen Weise wiederholt.

[0025] Um eine Bestimmung des Arbeitspunktes der Elektrode zu ermöglichen, muss das Bewegungsmuster insgesamt für wenigstens drei verschiedene Winkelpositionen wiederholt werden, d.h. eine Startposition und zwei Rotationen. Die beiden Rotationen müssen nicht um dieselbe Achse durchgeführt werden. Theoretisch ist diese minimale Registrierung ausreichend, doch wird die Möglichkeit des Erzielens einer stabilen Anwendung, welche eine zufriedenstellende Genauigkeit in der Praxis bietet,

erhöht, wenn der Winkel zwischen den beiden Winkelpositionen vergrößert wird, wie es auch der Fall ist, wenn der Winkel zwischen den Rotationsachsen größer ist.

[0026] Zur Ausführung der Erfindung in ihrer beschränktesten Form ist es nicht erforderlich, jedoch bevorzugt, den Registriervorgang unter Verwendung einer großen Anzahl an Winkelpositionen zu wiederholen. Der Umfang an gesammelten Informationen wird größer und macht es möglich, viele Probleme praktischer Natur zu lösen. Durch Rotationsbewegungen in kleinen Schritten und Wiederholung der Registrierung der tangentialen Kontakte mit dem Zylinder kann eine große Anzahl an Registrierungen vorgenommen werden, ohne dass dies signifikant zeitaufwändiger wäre als Registrierungen an den Endpositionen der Rotationsbewegungen. Die Vorgehensweisen, wie diese Registrierungen variiert werden können, können zur Anpassung an spezielle Umstände unendlich variiert werden. Das Prinzip besteht in der Registrierung von Positionen, bei welchen – im vorliegenden Fall – die Mantelfläche oder Stirnfläche des Zylinders zur tangentialen Anordnung bezüglich der Detektorlinie kommt.

[0027] Ist der gesamte Registriervorgang abgeschlossen, so wird der Berechnungsvorgang gestartet, welcher im vorliegenden Fall lediglich auf der Voraussetzung beruht, dass die Oberfläche der Elektrode in dem Moment einer jeden diskreten Registrierung an einem zufälligen Punkt einer unbekannt, aber statischen Detektorlinie angeordnet ist. Darüber hinaus ist es bekannt, welche Registrierungen Registrierungen der Mantelfläche und welche Registrierungen der Stirnfläche darstellen. Die Gleichung, welche einen tangentialen Kontakt zwischen der Mantelfläche und der Detektorlinie bzw. einen tangentialen Kontakt zwischen der Stirnfläche und der Detektorlinie beschreibt, ist definiert. Diese Gleichungen umfassen die unbekannt Parameter, welche die Positionen der Detektorlinie bzw. der Elektrode in dem Koordinatensystem des Roboterhand festlegen. Folglich wird für jeden diskreten Moment der Erfassung eine Beziehung mit sechs Freiheitsgraden erhalten, welche die acht unbekannt Parameter umfasst. Die minimale Datenregistrierung stellt neun gespeicherte Positionen zur Verfügung, welche mit sechs Freiheitsgraden festgelegt sind, d.h. 54 Zahlen. Das Ergebnis ist ein komplexes und extrem überbestimmtes Gleichungssystem, welches verwendet werden kann, um einer Vielzahl an unterschiedlichen, seitens des Endbenutzers gestellten Anforderungen zu genügen.

[0028] Die grundlegende Anforderung besteht darin, eine automatische Bestimmung zu ermöglichen, ob die Kalibrierung zufriedenstellend ist, d.h. ob die Werkzeugkalibrierung einen zweckdienlichen und verlässlichen Wert liefert. Um dies zu erreichen, wird

ein Fehlervektor in die beiden Grundgleichungen eingeführt, während das System unter der Bedingung gelöst wird, dass der Fehlervektor in einer bestimmten Weise, vorzugsweise nach dem Least-Squares-Abstiegsverfahren, minimiert wird.

[0029] Durch Einführen von festen Kriterien in Bezug auf Größe und Verteilung der Fehlervektoren wird es möglich, automatisch zu bestätigen, dass der Kalibriervorgang zu einem Ergebnis geführt hat, welches für die Punktschweißanwendung akzeptabel ist, oder ob ein Alarm ausgelöst werden soll. Häufig auftretende Fehler sind in der Pistole auftretendes Spiel oder in einem Roboterarm auftretende Reibung, eine fälschliche Einstellung der Nullposition der Roboterachse oder verformte Maschinenteile in dem Präzisionsablauf des Roboters oder andere hiermit verbundene Defekte, welche sich aus Betriebsstörungen oder Verschleiß ergeben. Bei bestehenden technischen Anlagen verursachen solche Situationen die oben beschriebenen Probleme. Dank der automatischen Analyse der Fehlervektoren wird es möglich, den Fehler mit verschiedenen möglichen Ursachen des Fehlers in Verbindung zu bringen.

[0030] Durch Erweiterung der obigen Gleichungen derart, dass sie auch die Kinematik des Roboters beinhalten, wird es möglich, z.B. die Nullpunkte der Achsen **4**, **5** als Parameter einzuführen. Hängt der tatsächliche Fehler von einer permanenten Abweichung des Nullpunktes der Achse **4** oder **5** ab, so zeigt sich dies bei der Minimierung des Fehlervektors, wobei es eine Kalibrierung gemäß der Identifizierung dem Arbeitsprogramm des Roboters ermöglicht, im Betrieb fortzufahren, ohne dass eine manuelle Programmeinstellung erforderlich ist. Auf ähnliche Weise kann das Auftreten eines Spiels im Schwenkzentrum der Pistole in den Gleichungen definiert werden und kann ein Alarm ausgelöst werden, um den wahrscheinlichen Fehler anzuzeigen. Das Verfahren kann gleichfalls auf weitreichendere Weise angewandt werden, um zum Zwecke des Erreichens einer absoluten Genauigkeit eine größere Anzahl an Roboterparametern zu identifizieren.

[0031] Es besteht ein erhebliches Interesse an einem Verfahren, welches eine Nachkalibrierung von bereits am Arbeitsplatz des Benutzers installierten Robotern ermöglicht, und zwar sowohl im Hinblick auf eine Auswahl an Parametern, welche in situ kalibriert werden müssen, als auch hinsichtlich einer kompletten Kalibrierung.

[0032] Bei der anfänglichen Installation des Roboters wird die Detektorlinie an dem gewünschten Ort innerhalb des Arbeitsbereiches des Roboters angeordnet und wird der Roboter manuell in eine Position verrückt, bis sich die Elektrode auf oder nahe der Detektorlinie befindet, wobei sich die Zylinderachse im Wesentlichen unter einem rechten Winkel zu der De-

tektorlinie erstreckt. Sodann wird das Installationsprogramm gestartet, welches mittels reiner Translationsbewegungen mehrere Punkte tangentialen Kontaktes sowohl der Mantelfläche als auch der Stirnfläche entlang der Detektorlinie registriert. Diese Anordnung ermöglicht es dem Roboter, die Ausrichtung der Detektorlinie im Raum mit einem hohen Maß an Genauigkeit zu errechnen. Die Zylinderachse ist bereits bekannt und die übrigen Bewegungen können mit diesen Linien durchgeführt werden, welche sich unter einem rechten Winkel zueinander erstrecken. Ebenfalls kann die Ausrichtung der Elektrode im Raum auf ähnliche Weise ermittelt werden, sofern dies erwünscht ist. Darüber hinaus ist keine Kenntnis betreffend die nominale Werkzeugtransformation erforderlich, weil es geringfügige Rotationsbewegungen und einfache Berechnungen einfach machen, die ungefähre Position der Elektrode oder der Detektorlinie zu ermitteln und den Ermittlungsvorgang sukzessive einzustellen, bis eine größere Anzahl an Rotationen durchgeführt worden ist, ohne dass die Gefahr von Kollisionen besteht.

Verallgemeinerungen der Erfindung

Verschiedene Ermittlungsverfahren

[0033] Die Erfindung kann unter Verwendung von Detektormitteln ausgeführt werden, welche von Lichtstrahlen verschieden sind. Es kann ein beliebiger Liniendetektor eingesetzt werden, welcher zur mathematischen Beschreibung geeignet ist, wie z.B. ein Faden, dessen nach unten hängender Abschnitt korrekt konfiguriert werden kann. Ferner können Positionsdetektoren, welche zur Konfiguration durch Punkte geeignet sind oder komplexere Eigenschaften, wie Hysterese, besitzen, oder auch Oberflächensensoren, wie Lichtvorhänge, Laserscanner oder berührungsempfindliche Oberflächen, wie Blech, eingesetzt werden.

[0034] Die Erfindung schlägt einen neuartigen Detektor/Sensor vor, welcher die Detektion/Abtastung mittels des Kontaktes mit einer freien Flüssigkeitsoberfläche ermöglicht. Ein bezeichnender Vorteil der Verwendung einer Flüssigkeitsoberfläche besteht in der senkrechten Anordnung derselben bezüglich der Erdanziehungskraft, was ein für die Zellenkalibrierung sehr geeignetes Merkmal darstellt.

[0035] Bekannte kostengünstige Liniendetektoren bieten keinerlei Informationen in Bezug auf die Positionen entlang der Linie. Hierin liegt der Grund für den Vorschlag eines neuartigen Detektors. Letzterer ist ein Kalibrierdetektor, welcher zwei oder mehrere benachbarte, aber nicht parallele Linien verwendet, welche einzeln oder sequenziell detektiert werden können. Der Winkel zwischen den Linien muss nicht bekannt sein. Der Abstand zwischen den Detektionspunkten auf den verschiedenen Linien liefert ein di-

rektes Relativmaß, an welcher Stelle entlang der Detektorlinie die Detektion stattgefunden hat. Nach Komplettierung eines Berechnungsvorgangs kann ein mathematischer Ausdruck beider oder sämtlicher Linien und folglich individueller Registrierungen gelöst werden, auch in Bezug auf die Stelle entlang der Linie, an welcher die Detektion stattgefunden hat.

Kalibrierung der Rotation der Werkzeugtransformation

[0036] In Fällen, in welchen eine Kalibrierung der Werkzeugtransformation erforderlich ist, kann die Erfindung in derselben Weise angewandt werden, doch müssen geeignete Punkte registriert werden. Im Falle des Punktschweißens werden mehr Punkte entlang der Zylinderfläche registriert und kann die Ausrichtung der Zylinderachse identifiziert werden. Der Abstand zwischen den Punkten muss hinreichend sein, um den Erfordernissen der Endgenauigkeit zu genügen.

Verschiedene an den Arbeitspunkt angrenzende Werkzeuggeometrie Konfigurationen

[0037] Im Wesentlichen zylindrische Werkzeugteile, wie Punktschweißelektroden, stellen geeignete Objekte dar, doch ist die Erfindung nicht auf Formen dieser Art beschränkt. Es kann jeder Körper verwendet werden, welcher sich mit mathematischen Ausdrücken durch eine begrenzte Anzahl an Parametern beschreiben lässt. Das Prinzip ist das gleiche. Die Erfindung ist auch auf rechteckige oder winklige Körper, wie parallele flache Formen, anwendbar. In einigen Fällen, z.B. im Hinblick auf Greifer, kann es von Vorteil sein, an geeigneten Stellen ein oder mehrere, vorzugsweise zylindrische, Objekte einzuführen, welche dazu in der Lage sind, die Werkzeugtransformation des Greifers eindeutig zu definieren. Gewöhnlich müssen Greifer in Bezug auf die gesamte Werkzeugtransformation kalibriert werden, weshalb eine Verwendung von drei Objekten empfohlen wird.

Verschiedene Formen der Registrierung

[0038] Zur Registrierung von Punkten tangentialen Kontaktes sind verschiedene Formen der Registrierung möglich. Eine Registrierung in einem karthesischen Koordinatensystem kann die Werkzeug-Befestigungsplatte des Roboters oder eine beliebige andere bekannte Werkzeugtransformation betreffen.

[0039] Die Werkzeugtransformation kann sogar willkürlich, nicht reproduzierbar und nicht vorhersagbar sein, so lange sie zum Moment der Registrierung bekannt ist und in Verbindung hiermit gespeichert worden ist. Vorzugsweise liefern die Registrierungs- und Speichervorgänge hinreichend Daten, um für eine eindeutige Spezifikation des Ortes des Werkzeugs im Raum in sechs Freiheitsgraden (wie xyzabc oder die

Achspositionen $\theta_1, \theta_2, \theta_6$) zu sorgen. Dies ist indes nicht notwendig. Soll beispielsweise nur xyz verfügbar sein, so lässt sich die Mathematik entsprechend anpassen. Es ist sogar möglich, das Verfahren an eindimensionale Registrierungen anzupassen, welche jedoch die Gefahr erhöhen, dass bei einigen Installationen ungelöste Probleme in Form von mathematischen Singularitäten und anderen auftreten.

Verschiedene Achskonfigurationen

[0040] Die Genauigkeit kann erheblich erhöht werden, wenn es dem Roboter ermöglicht wird, einen Teil oder den gesamten Detektionsvorgang unter Verwendung von verschiedenen Achskonfigurationen zu wiederholen. So können beispielsweise die Achsen **4** und **5** spiegelbildlich (seitenverkehrt im Achsraum) angeordnet werden, während die Hauptachsen im Wesentlichen in derselben Position wie in der Startposition verblieben und die Achse **6** derart eingestellt werden kann, dass das Werkzeug wiederum dieselbe Position wie in der Startposition einnimmt. Oder die Achse **1** kann unter 180° platziert und die Achsen **2** bis **3** können über Kopf angeordnet werden.

[0041] Auf diese Weise lassen sich zusätzlich Informationsdaten gewinnen, welche sich in gewissem Maß von ihrer Natur her von den vorherigen unterscheiden, wobei diese Daten insbesondere für die Nullpunktkalibrierung, z.B. der Achsen **4** und **5**, leistungsfähig sind. In diesem Fall muss der Registrierungsvorgang nicht verschiedene Rotationsbewegungen auf der Detektionslinie umfassen. In diesem Fall kann der Roboter in Bezug auf die Nullposition der Achsen **4** und **5** kalibriert werden und dies mit einem hohen Maß an Genauigkeit. Desgleichen kann die Nullposition der Achse **6** kalibriert werden, doch lässt sich diese Situation nicht von einer Rotationsbewegung der Werkzeugtransformation unterscheiden. Gleichwohl wird das gewünschte Endergebnis, d.h. dass das bestehende Roboterprogramm nach der Kalibrierung einsatzfähig ist, erreicht.

Räumlich festes Werkzeug

[0042] Bei Anwendungen, bei welchen sich das Werkzeug ortsfest im Raum befindet, wird der Detektor an dem Roboter montiert und wird das Verfahren in Analogie zu den obigen Ausführungen durchgeführt.

Zellenkalibrierung

[0043] Eine automatische Zellenkalibrierung kann durch Anordnen von einer oder mehrerer Detektorlinien in einer bekannten, genauen Position bezüglich der Arbeitsaufgabe, welche von dem Roboter ausgeführt werden soll, durchgeführt werden. Eine komplette Zellenkalibrierung kann mit Hilfe von zwei Lini-

en durchgeführt werden, wobei in diesem Fall der Roboter und sein Werkzeug an die in Frage stehende Zelle angepasst sind. Eine vertikale Linie und eine Flüssigkeitsoberfläche auf einem bekannten Niveau sorgen ebenfalls für eine komplette Kalibrierung. Andere Detektoren können in einer entsprechenden Weise verwendet werden.

[0044] Wird eine Roboterlinie eingerichtet, was gegenwärtig in der Regel z.B. mit Hilfe von Theodoliten geschieht, kann es insbesondere vorteilhaft sein, für zwei oder mehr Detektorlinien als Installationsreferenzen zu sorgen. Diese Detektorlinien können dann von einem gemäß der Lehre der Erfindung zu kalibrierten Roboter verwendet werden, um auf diese Weise die Inbetriebnahme eines offline programmierten Roboters in einer Linie erheblich zu erleichtern.

[0045] Obgleich vorstehend bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erläutert sind, ist es dem Durchschnittsfachmann auf einschlägigem Gebiet offensichtlich, dass verschiedene Modifikationen und Abänderungen der vorliegenden Erfindung möglich sind, ohne vom Schutzbereich der Erfindung, wie er durch die beigefügten Ansprüche bestimmt ist, abzuweichen. Folglich sind die beigefügten Ansprüche allein für die Abgrenzung des Schutzbereiches der vorliegenden Erfindung verantwortlich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Zellausrichtung und Identifizierung und Kalibrierung eines Roboterwerkzeugs, umfassend die folgenden Schritte:

- Anordnen eines Roboterteils, insbesondere eines Teils des Roboterwerkzeugs, in einer Position nahe einem Detektor, welcher eine bekannte Position bezüglich der Aufgabe des Roboters einnimmt;
- wiederholtes Bewegen des Roboterteils über die Grenze des Detektionsbereiches des Detektors hinaus;
- Registrieren der Pose des Roboters, d.h. seinem mechanischen Ort wie von dem Steuersystem erkannt, während dieser Roboterbewegung zu jedem Zeitpunkt, an welchem die Oberfläche des Roboterwerkzeugs mit dem Detektionsbereich in tangentialen Kontakt tritt; gekennzeichnet durch
- Formulieren eines überbestimmten Gleichungssystems, welches aus einer Korrelation zwischen den registrierten Posen und unbekanntem Parametern in Bezug auf den Detektionsbereich des Detektors sowie den Ort des Roboterteils im Raum besteht, wobei die unbekanntem Parameter Parameter umfassen, welche die Position der Installation des Roboters bezüglich seiner Aufgabe bestimmen;
- Einführen eines Fehlervektors in das Gleichungssystem; und
- Lösen des Gleichungssystems, indem der Fehlervektor minimiert wird, insbesondere nach dem nach

dem Least-Squares-Abstiegsverfahren, um auf diese Weise die unbekanntem Parameter sowie den Fehlervektor zu identifizieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die unbekanntem Parameter Parameter umfassen, welche den Arbeitspunkt des Werkzeugs bestimmen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die unbekanntem Parameter den Nullpunkt wenigstens einer der Roboterachsen umfassen, wobei nach Lösen des Gleichungssystems eine jegliche Abweichung dieses Nullpunktes identifiziert wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Roboterpose in Bezug auf wenigstens zwei verschiedene Rotationen registriert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Roboterteil nach jeder Rotation über die Grenze des Detektionsbereiches des Detektors entlang einer ersten geradlinigen Linie (A–B) hinaus bewegt, sodann über die Grenze des Detektionsbereiches des Detektors entlang einer zweiten geradlinigen Linie (C–D), welche im Wesentlichen senkrecht zu der ersten Linie angeordnet ist, hinaus bewegt und schließlich wieder über die Grenze des Detektionsbereiches des Detektors entlang der ersten geradlinigen Linie (A–B) hinaus bewegt wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Roboterteil im Wesentlichen zylindrisch ist.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Detektor einen Liniendetektor umfasst, dessen Detektionsbereich von einer geraden Linie gebildet ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Detektor mehrere Liniendetektoren umfasst, welche die Registrierung einer größeren Anzahl an unterschiedlichen Posen ermöglichen.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Detektor einen Oberflächendetektor umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der Oberflächendetektor von einer Flüssigkeitsoberfläche gebildet ist.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Schritte des wiederholten Bewegens des Roboterteils über den Detektionsbereich des Detektors hinaus sowie des Registrierens der Position des Roboters zu jedem Zeitpunkt, an welchem die Oberfläche des Roboterteils in tangentialen Kontakt mit dem Detektionsbereich tritt, für wenig-

tens zwei verschiedene Achskonfigurationen, z.B. mit zwei spiegelbildlich angeordneten Roboterachsen, wiederholt werden.

12. Verwendung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche zur Zellenkalibrierung eines Roboters.

13. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur Identifizierung von Fehlern und mangelnder Genauigkeit, wie Spiel, eines Roboters.

14. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur Identifizierung von einem oder mehreren Roboterparametern in Verbindung mit In-field-Nachkalibration.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

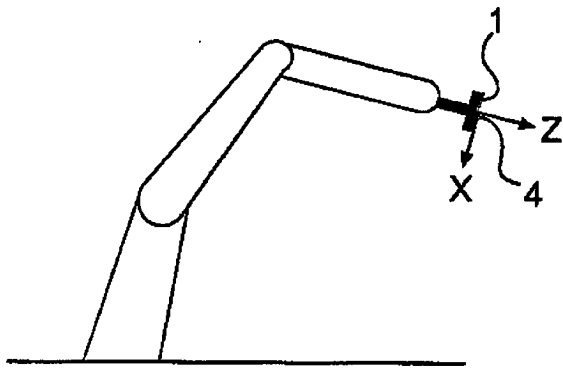


Fig. 1

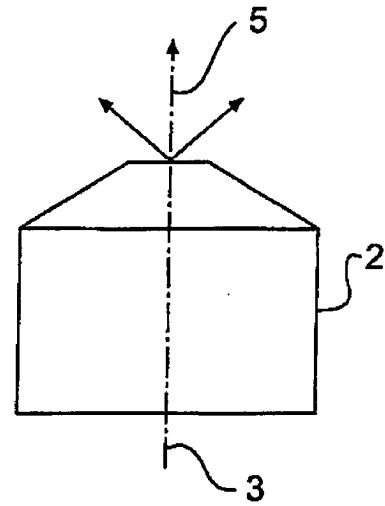


Fig. 2

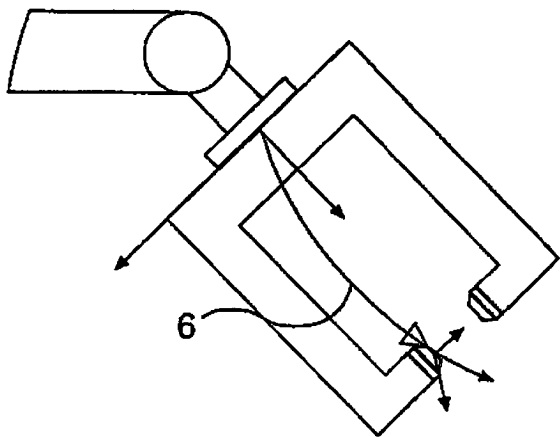


Fig. 3

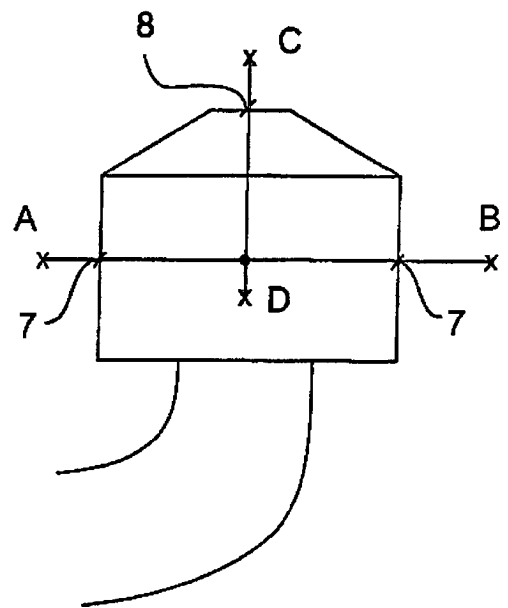


Fig. 4